尾气膨胀机叶轮用材料耐蚀性能研究

包翠敏，庄春瑜，陈 蕊，刘丹
沈阳鼓风机集团有限公司，辽宁 沈阳 110142

摘要：选定尾气膨胀机叶轮常用的 FV520B 钢、17-4 PH 钢和 Inco 718 合金 3 种材料为研究对象，通过仿工程工况环境法分别对其在 T1、T2 及 T3 下的均匀腐蚀和点蚀行为进行比较研究。结果表明：在 T1 下，测试腐蚀液浓度范围内，3 种材料均表现出良好的耐腐蚀性能，满足工程使用需求。当测试温度为 T2 时，Inco 718 合金在整个腐蚀浓度区间仍表现出优异的耐蚀性，可以满足工程需求；但 FV520B 钢和 17-4PH 钢在腐蚀液浓度升高为 1.5%时，两者的耐蚀性均发生明显下降；当环境温度进一步升高为 T3 时，Inco 718 合金在整个腐蚀浓度区间仍表现出优异的耐蚀性，但 FV520B 钢和 17-4PH 钢的耐腐蚀性能，随混合酸溶液浓度变化，表现出明显的不稳定性，已无法满足工程使用。

关键词：金属材料，耐蚀性能，全浸试验，腐蚀溶液
中图分类号：430. 40

Investigation on Corrosion Resistance Of Materials For Expander'S Impeller

BAO Cuimin *, ZHUANG Chunyu, CHEN Rui, LIU Dan
Shenyang Blower Works Group Corporation，Shenyang Liaoning 110142，China

Abstract: FV520B steel, 17-4PH steel and Inconel 718 alloy are investigated as the proper used materials for the impeller of the expander in this work. The general corrosion and pitting corrosion properties of the chosen materials are compared studied in T1, T2 and T3 under certain solution concentration of HBr and Acetic, which is similar with the service work situation of the expander. The results showed that the investigated metals were with good anti-corrosion property within the tested solution concentration under room temperature. When the tested temperature increased to T2, Inconel 718 alloy exhibited excellent corrosion resistance within the whole tested solution concentration, but FV520B steel and 17-4PH steel were obviously etched and out of work service while the solution concentration increased up to 1.5%. When the temperature increased to T3, Inconel 718 alloy still showed good anti-corrosion property in the whole tested solution concentration, while FV520B steel and 17-4PH steel showed significant etched and unable to be used for working.

Keywords: metal material, anti-corrosion performance, immersion test, corrosion solution

作者简介：包翠敏，1975，女，博士，高级工程师，主要从事金属材料显微组织、性能及表面强化。
Tel:13238038588，E-mail: baocm@ hotmail.com

1.前言

精对苯二甲酸是聚酯纤维和非纤聚合物的重要基础原料，PTA 的下游加工产品主要是聚酯。我国聚酯工业发展迅速，对聚酯原料精对苯二甲酸的需求量增强。PTA 装置工艺多采用以醋酸锰和醋酸钴作为催化剂，四溴乙烷作为促进剂，利用空气中的氧，将对二甲苯（Px）氧化，来生产对苯二甲酸(PTA)。由于该生产工艺中使用溴化物作为促进剂，醋酸为溶剂，所以含溴醋酸这种腐蚀环境就会存在于物料中而无法避免 [1-5] 。

PTA尾气膨胀机工作介质主要是氧化尾气，氧化尾气有残余醋酸、溴离子的存在，具有较强的腐蚀性，特别是有凝结水析出时，腐蚀性非常强。一方面，在气动设计时尽量使膨胀

机内尾气远离凝结水析出工况，同时在尾气膨胀机材料选择上，也需要根据介质特性采用耐腐蚀性较好的不锈钢。目前，对于含氯离子酸性环境下不锈钢的腐蚀，国内外学者做过一定的研究，但对在含溴离子醋酸环境下不锈钢腐蚀行为的研究还不多。本课题就是在调研国外同类产品叶轮用材料的基础上，结合国内金属材料研究情况，对国内首台套尾气膨胀机叶轮科学选材进行指导。材料选用既要保证尾气膨胀机强度、刚度方面的设计要求，又要满足其耐特定工况腐蚀性能要求，从而确保尾气膨胀机的长周期稳定运转。

涉及尾气膨胀机组服役工况为醋酸和氢溴酸混合溶液，温度约为T1到T3之间，本文通过仿工程工况环境法，对选定材料均匀腐蚀和点蚀行为进行了比较研究，总结产生点蚀的机理，为今后选材提供依据[6-10]。

2 实验方法

实验中所选择的 3 种材料均为可用作叶轮的锻件，其化学成分如表 1 所示。

表 1 3 种材料合金化学成分

Table 1 Chemical composition of 17-4PH (a) , FV520B (b) , and Inco 718(c)

Materials	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Nb+Ta	Cu	Nb	Fe
FV520B	0.02-0.07	0.3-1.0	0.15-0.7	13.0-14.5	5-6	1.3-1.8	-	1.3-1.8	0.25-0.45	bal
17-4PH	≤0.07	≤1	≤1	15.0-17.5	3-5	-	0.15-0.45	3-5	-	bal
Inco 718	0.08	0.35	0.35	17-21	50-55	2.8-3.3	-	0.3	4.75-5.5	bal

根据设计需求，对 3 种材料分别进行热处理，方案及热处理后力学性能如表 2 所示。

表 2 3 种材料热处理方案及对应力学性能

Table 2 Heat treatments and mechanical properties of 17-4PH(a) ,FV520B (b) ,and Inco 718(c)

Materials	Heat Treatment	Mechanical Property			
		R_S Mpa	R_m Mpa	A %	Z%
17-4PH	1050°C, AC+850°C, AC+ 520°C, AC	1001	965	16.5	60
FV520B	1050°C, AC+850°C, AC+ 520°C, AC	1017	1031	15	62
Inco 718	1050°C, AC+760°C, OC+ 620°C, AC	1320	1080	40	60

利用MVC1000B 型显微硬度计对3种材料进行硬度测试(载荷为500 g，加载时间为15 s)；利用Nikon-MA100型的金相显微镜进行光学显微分析；对经过表2中对应热处理后3种材料的耐氢溴酸和醋酸腐蚀能力进行测试分析，实验严格按照GB10124<金属材料实验室均匀腐蚀全浸试验方法>的规定，使用CJF-1L高压釜进行挂片式分析，选择在T1、T2和T3温度下对3种材料在不同浓度腐蚀溶液进行测试，对本次实验结果按照十级腐蚀标准规定进行评价，即材料在尚耐腐蚀的年化腐蚀率临界点为不超过0.1mm/a，完全耐腐蚀的年化腐蚀率为不超过0.01mm/a。

3 结果与讨论

3.1 显微硬度测试及金相组织观察

对热处理后的 3 种材料分别进行显微硬度测试，17-4PH 钢、FV520B 钢及 Inco 718 合金的显微硬度平均值分别为 325HV、323HV 及 443HV。3 种材料的金相组织如图 1 所示，由图 1a 和 b 可知 17-4PH 钢及 FV520B 钢在经过表 2 中对应热处理后，金相组织均为回火索氏体并保留淬火后马氏体位相，但 FV520B 钢较 17-4PH 钢具有更加细小的索氏体组织；由图 1c 可以看出，Inco 718 合金经过表 2 中对应热处理后，金相组织由奥氏体相及少量沉淀

硬化相构成。

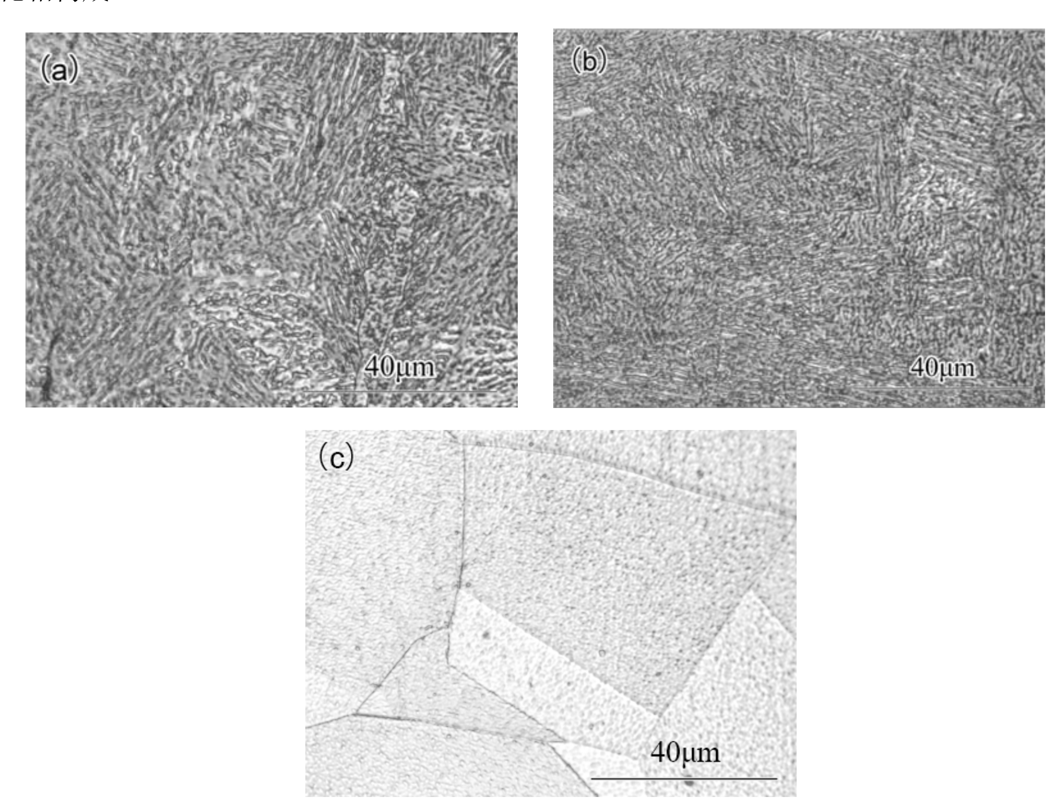


图 1 3 种材料显微组织结构观察

Fig.1 Microscopic structure of 17-4PH (a) , FV520B (b) , and Inco 718(c)

3.2 全浸腐蚀测试

3.2.1 T1 下材料腐蚀性能测试

图 2 为 T1 下 3 种材料耐腐蚀性能测试结果，腐蚀液浓度由 0.5%（氢溴酸及醋酸各 0.5%的混合腐蚀液，其它浓度表达方法相同）到 2.5%。由图 2 可知，Inco718 合金的年化腐蚀率小于 0.01 mm/a，处于完全耐腐蚀状态，耐腐蚀性能随着腐蚀液浓度变化趋势不明显，且基本无腐蚀坑存在，可以在工程中使用。当腐蚀液浓度不大于 1.5%时，FV520B 钢和 17-4PH 钢的年化腐蚀率均小于 0.01 mm/a，处于完全耐腐蚀状态，可以在工程中使用，二者显微金相如图 3 所示，由图可知 17-4PH 钢表面存在极少较浅腐蚀坑，尺寸在 20-30μm 左右，如图 3a 所示，而 FV520B 钢腐蚀坑数量明显增多，尺寸及深度与 17-4PH 钢相似，如图 3b 所示；当腐蚀液浓度在 1.5%到 2.5%之间时，FV520B 钢和 17-4PH 钢的年化腐蚀率均小于 0. 1 mm/a，处于尚耐腐蚀状态，工程中对于非超高速旋转部件可以使用，通过对二者进行显微金相观察发现在 17-4PH 钢的表面有若干较浅腐蚀坑，尺寸在 20-40μm 左右，如图 4a 所示，而 FV520B 钢腐蚀坑数量明显增多，尺寸在 20μm 到 50-60μm 之间变化，如图 4b 所示。由以上结果可知 Inco 718 合金在此种腐蚀液中耐蚀能力极好，而其它两种材料随着腐蚀液浓度的增加，耐腐蚀性能明显降低。

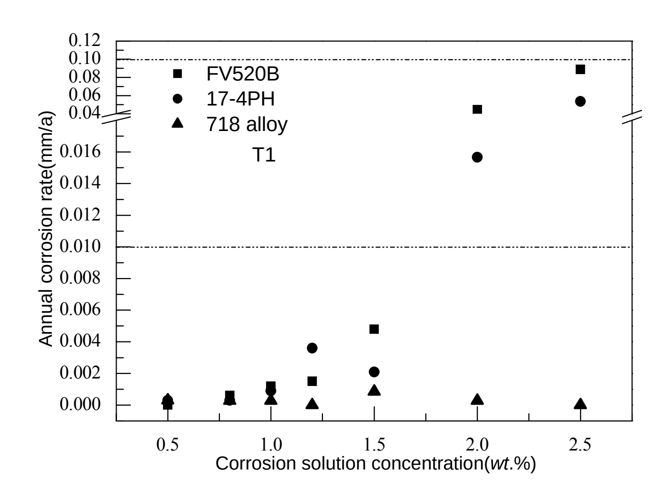


图 2 T1 下三种材料在不同浓度腐蚀液中的耐腐蚀性能

Fig.2 Corrosion resistance in different concentration corrosion solution at T1

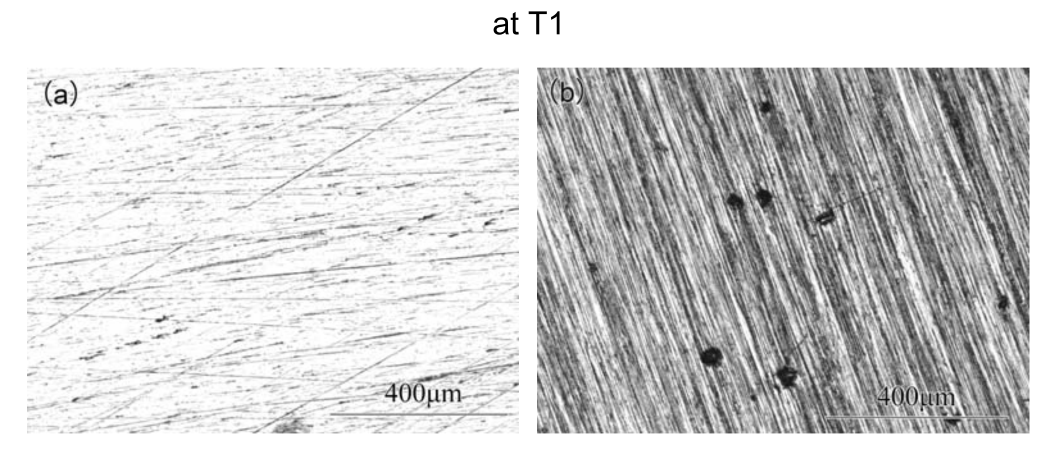


图 3 T1 下 1.5%氢溴酸和 1.5%醋酸溶液中经过 120h 腐蚀后挂片金相像

Fig.3 Corrosion microscopic structure in 1.5%HBr and 1.5% acetic acid solution at T1 after 120 h of 17-4PH (a) and FV520B (b)

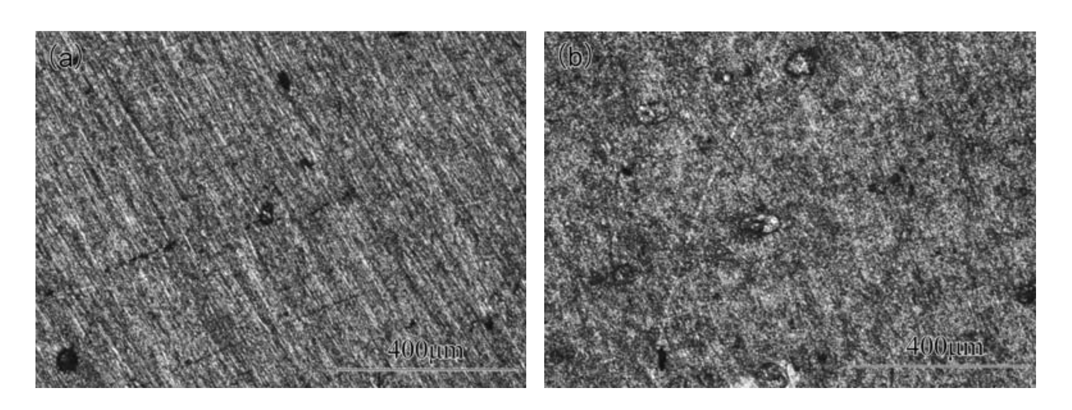


图 4 T1 下 2.5%氢溴酸和 2.5%醋酸溶液中经过 120h 腐蚀后挂片金相照片

Fig.4 Corrosion microscopic structure in 2.5%HBr and 2.5% acetic acid solution at T1 after 120 h of 17-4PH (a) and FV520B (b)

3.2.2 T2 下材料腐蚀性能测试

由图 5 可知，在整个腐蚀浓度区间，Inco718 合金年化腐蚀率小于 0.01 mm/a，处于完全耐腐蚀状态，耐腐蚀性能随着腐蚀液浓度变化趋势不明显，可以在工程中使用。当腐蚀液浓度小于 1%时，FV520B 钢和 17-4PH 钢的年化腐蚀率均小于 0.01 mm/a，处于完全耐腐蚀状态，可以在工程中使用；当腐蚀液浓度升高至 1.5%时，FV520B 钢和 17-4PH 钢的年化腐蚀率急剧增加，均远超过 0.1 mm/a，无法进行工程应用，但从图 5 可以看出，在 T2 下同等浓度腐蚀液中，FV520B 钢比 17-4PH 钢的耐蚀性好。

3 种材料腐蚀后的显微金相如图 6 和图 7 所示，当腐蚀液浓度为 1.0%时， 17-4PH 钢表面存在少量较浅直径为 10-30μm 的圆形及椭圆形的腐蚀坑，见图 6a 所示；FV520B 钢较 17-4PH 钢表面腐蚀坑数量少，但尺寸基本相同，见图 6b 所示；Inco718 合金表面也出现了极少量相同尺寸较浅的腐蚀坑，见图 6c 所示。当腐蚀液浓度为 1.5%时，17-4PH 钢表面出现大量较深直径为 20-100μm 圆形及椭圆形腐蚀坑，见图 7a 所示；FV520B 钢较 17-4PH 钢腐蚀坑数量少且较浅，直径在 20-40μm 左右，见图 7b 所示； Inco718 合金也出现了少量较浅腐蚀坑，直径为 20-60μm，见图 7c 所示。

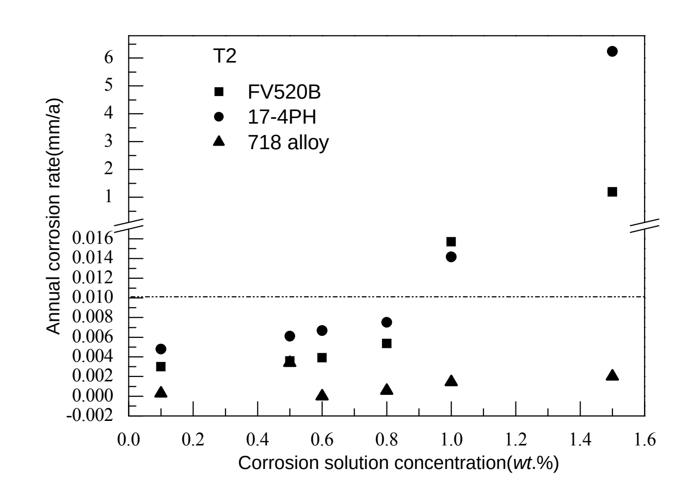


图 5 T2 下 3 种材料在不同浓度腐蚀液中的耐腐蚀性能

Fig.5 Corrosion resistance in different concentration corrosion solution at T2

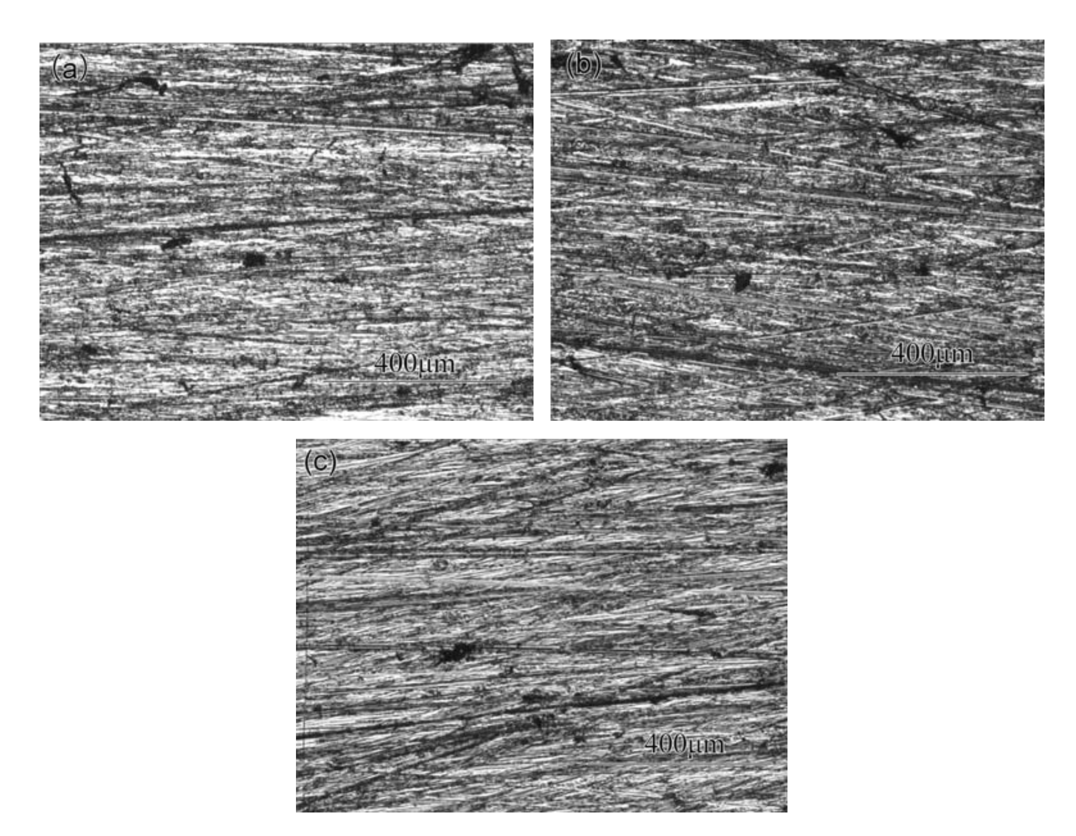
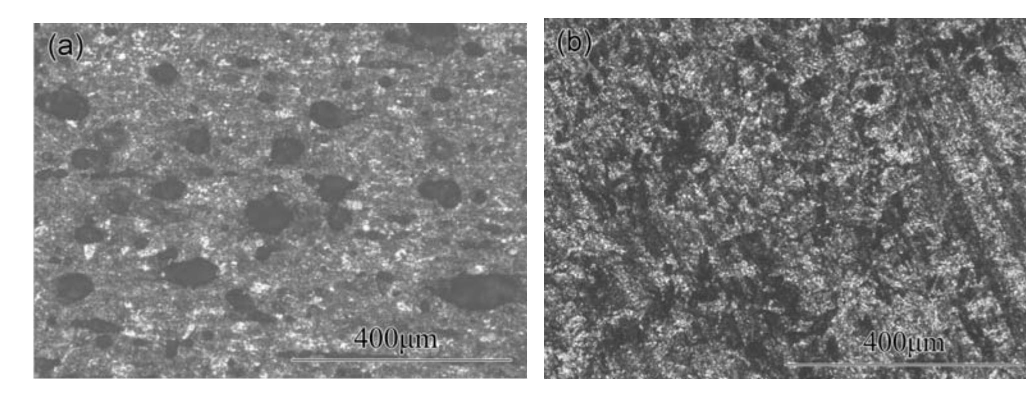


图 6 3 种材料在 T2 下 1.0%氢溴酸和 1.0%醋酸溶液中经过 120h 腐蚀后挂片金相照片

Fig.6 Corrosion microscopic structure in 1.0%HBr and 1.0% acetic acid solution at T2 after 120 h of 17-4PH (a) , FV520B (b) , and Inco 718(c)



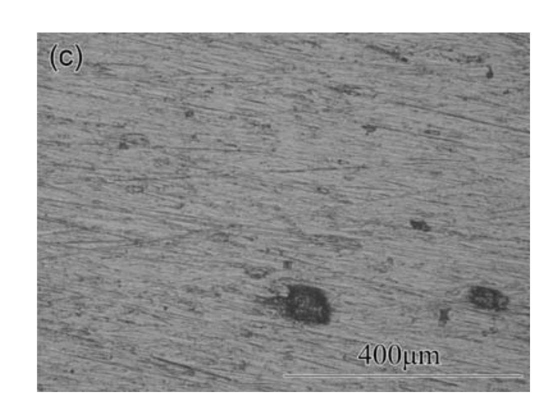


图 7 3 种材料在 T2 下 1.5%氢溴酸和 1.5%醋酸溶液中经过 120h 腐蚀后挂片金相照片

Fig.7 Corrosion microscopic structure in 1.5% HBr and 1.5% acetic acid solution at T2 after 120 h of 17-4PH (a) , FV520B (b) , and Inco 718(c)

3.2.3 T3 下材料腐蚀性能测试

由图 8 可知，Inco718 合金在腐蚀液浓度小于 0.1%时，年化腐蚀率小于 0.01 mm/a，处于完全耐腐蚀状态，可以在工程中使用；当腐蚀液浓度不超过 0.8%时，年化腐蚀率小于 0.1 mm/a，处于尚耐腐蚀状态，工程中对于非超高速旋转部件可以使用；通过两种状态下临界腐蚀液浓度得到的显微金相进行对比可知，当腐蚀液浓度为 0.1%时，Inco 718 合金出现均匀腐蚀和点蚀，见图 9a 所示，当浓度增加到 0.8%时，点蚀坑数量明显增多，腐蚀加重，见图 9b 所示。17-4PH 钢在腐蚀液浓度不大于 0.0075%时，年化腐蚀率小于 0.01 mm/a，处于完全耐腐蚀状态，可以在工程中使用；当腐蚀液浓度小于 0.5%时，年化腐蚀率比较稳定约为 0.2 mm/a，略高于尚耐蚀等级，工程中对于非超高速旋转部件可以使用；但当腐蚀液浓度升高至 0.8%时，年化腐蚀率突变为 4.4mm/a，工程中无法使用；通过对以上三个临界浓度下得到的显微金相进行对比可知，当腐蚀液浓度为 0.0075%时，17-4PH 钢表面仍保持金属原貌，但存在极少量直径较小的腐蚀坑，见图 10a 所示，当浓度增加为 0.5%时，17-4PH 钢表面已变黑，点蚀坑无法分辨，此时表面发生严重的均匀腐蚀，点蚀的影响次之，见图 10b 所示，而当腐蚀液浓度为 0.8%时，17-4PH 钢表面发生了严重的均匀腐蚀，点蚀坑已经呈现连续，成片联接的特征，见图 10c 所示。FV520B 钢的年化腐蚀率不断发生变化，但其最大值为 0.2mm/a，仅略高于尚耐蚀等级，具有较好的耐蚀性，但在整个浓度变化过程中，材料的年化腐蚀率出现不稳定现象；通过对不同浓度腐蚀液的显微金相对比可知，当腐蚀液浓度为 0.005%时，FV520B 钢表面变黑发生较重的均匀腐蚀而腐蚀坑很少且直径较小，见图 11a 所示，当腐蚀液浓度增加到 0.01%，腐蚀坑直径略有变大但数量仍很少，见图 11b 所示，当浓度为 0.1%时，腐蚀坑明显变大，点蚀严重，见图 11c 所示，但当浓度为 0.5%，点蚀坑已无法分辨，均匀腐蚀较严重，见图 11d 所示，当浓度为 0.8%时，FV520B 钢表面变暗失去金属光泽，表面有少量尺寸极小的点蚀坑，以均匀腐蚀为主，见图 11e 所示。

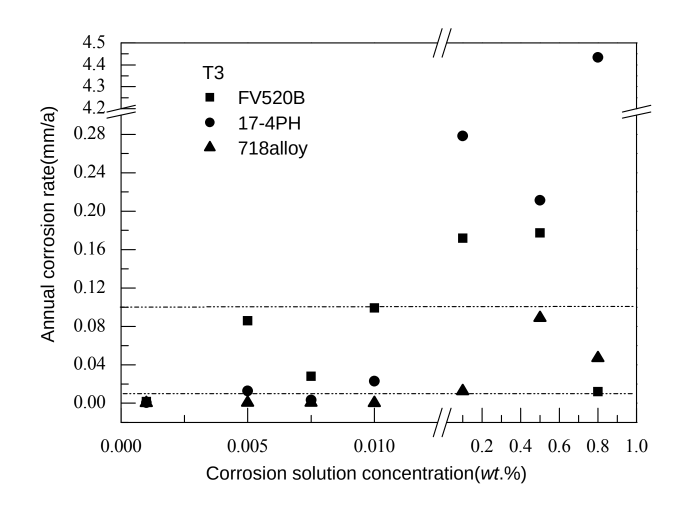
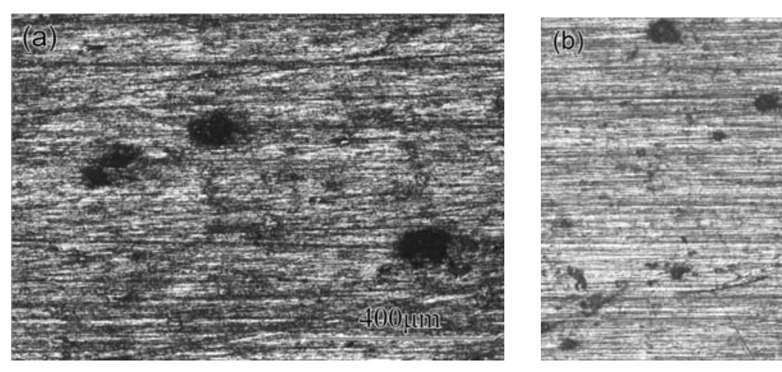


图 8 T3 下 3 种材料在不同浓度腐蚀液中的耐腐蚀性能

Fig.8 Corrosion resistance in different concentration corrosion solution at T3



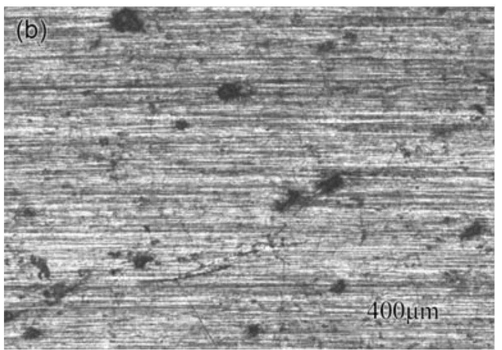


图 9 在 T3 下 Inco 718 合金在不同浓度溶液中经过 120h 腐蚀后挂片金相照片

Fig.9 Corrosion microscopic structure of Inco 718 alloy in different concentration solution at T3 after 120 h（a）0.1%，(b) 0.8%

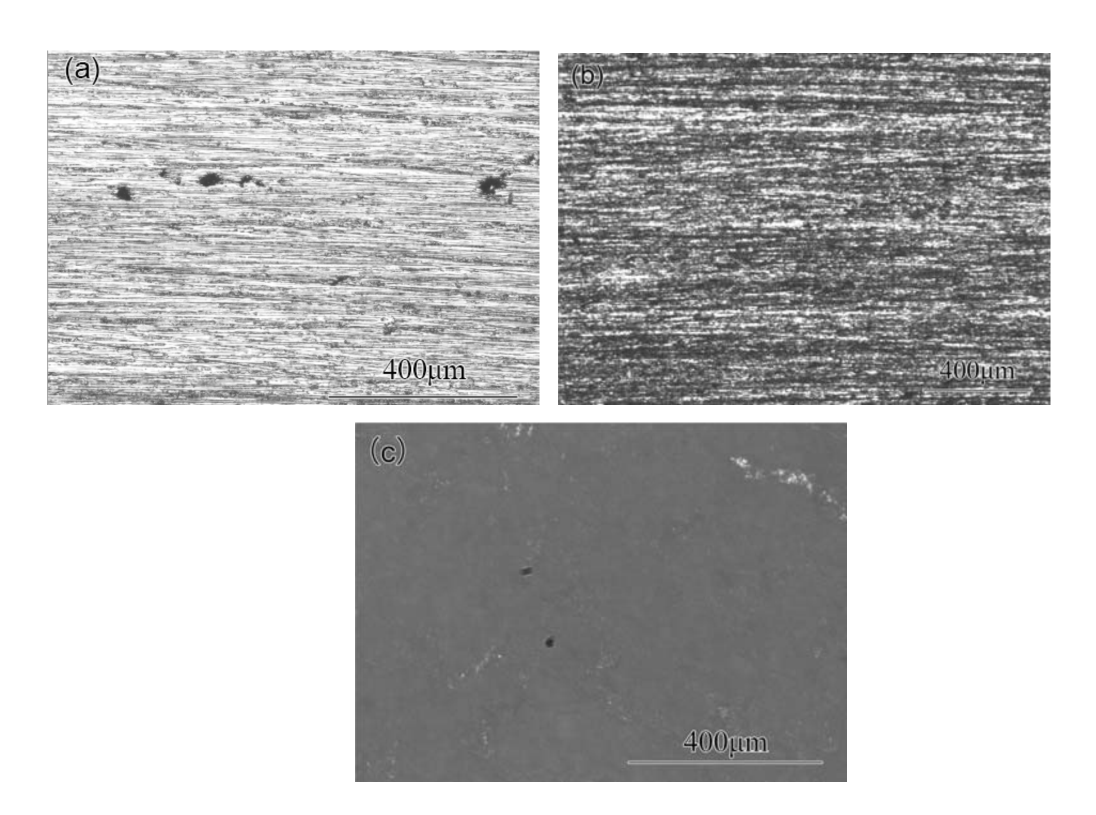


图 10 在 T3 下 17-4PH 钢分别在不同浓度溶液中经过 120h 腐蚀后挂片金相照片

Fig.10 Corrosion microscopic structure of 17-4PH steel in different concentration solution at T3 after 120 h（a）0.0075%，(b) 0.5%，(c) 0.8%

